

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-061077

(43)Date of publication of application : 12.03.1993

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

(21)Application number : 03-219771

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 30.08.1991

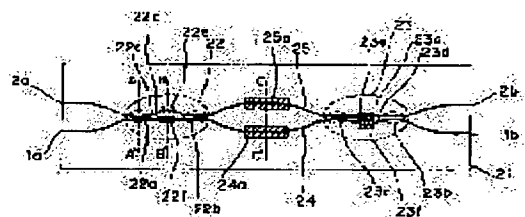
(72)Inventor : JINGUJI KANAME
TAKATO NORIO
KAWACHI MASAO

(54) WAVEGUIDE TYPE OPTICAL SWITCH

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a waveguide type optical switch whose wavelength dependency is small is a desired wavelength area.

CONSTITUTION: Two directional couplers 22a, 22b and 23a, 23b are coupled with optical waveguides 22c, 22d and 23c, 23d whose length are slightly different from each other, and sub-phase shifters 22e, 22f and 23e, 23f are provided on the optical waveguides so as to constitute Mach-Zehnder optical interferometer type 3dB optical couplers 22, 23, and main phase shifters 24a, 25a are provided on the optical waveguides 24, 25 between the optical couplers 22, 23. By simultaneously controlling the main and sub phase shifters, the optical switch whose wavelength dependency is small can be provided.



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-61077

(43)公開日 平成5年(1993)3月12日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 2 F 1/313

識別記号

庁内整理番号

7246-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全10頁)

(21)出願番号

特願平3-219771

(22)出願日

平成3年(1991)8月30日

(71)出願人

000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者

神宮寺 要

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者

高戸 範夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者

河内 正夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人

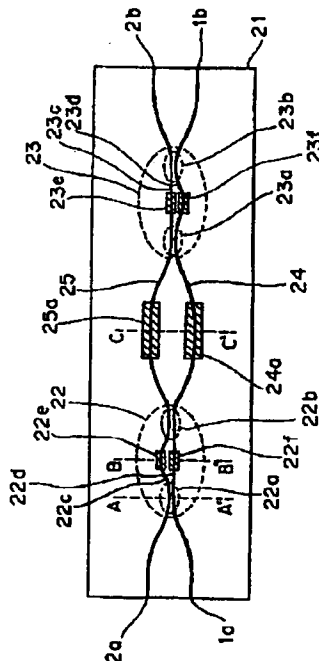
弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 導波路型光スイッチ

(57)【要約】

【目的】 所望波長域で波長依存性の少ない導波路型光スイッチを提供する。

【構成】 2つの方向性結合器22aと22bおよび23aと23bをわずかに長さの異なる光導波路22cと22dおよび23cと23dで結合し、これら光導波路に副位相シフタ22eと22fおよび23eと23fを設けてマッハツェンダ光干渉計型3dB光結合器22および23を構成し、これら光結合器22と23との間の光導波路24および25に主位相シフタ24aおよび25aを設ける。主および副位相シフタを同時に制御することで、波長依存性の少ない光スイッチを提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に設けられた2本の光導波路と、該2本の光導波路をそれぞれ光導波路の異なる位置で結合する2つの3dB光結合部と、該2つの3dB光結合部の間の前記光導波路上に配設されて光路長を微調する光位相シフタとを有する導波路型光スイッチにおいて、

前記2つの3dB光結合部の各々は、前記2本の光導波路をそれぞれ光導波路の異なる位置で結合するよう設けられた2つの方向性結合器と、該2つの方向性結合器の間の2本の光導波路上に配設されて光路長を微調する副光位相シフタとを備え、前記2つの方向性結合器の間の2本の光導波路の光路長差を動作波長域の短波長端値よりもやや小さく設定し、および光路長の長い側の光導波路を、前記2つの3dB光結合部で互いに反対側に配置したことを特徴とする導波路型光スイッチ。

【請求項2】 動作波長域が、 $1.3\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲を含み、前記3dB光結合器内での前記光路長差をほぼ $1\mu\text{m}$ に設定して、前記3dB光結合器の結合率の波長依存性が波長 $1.3\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において緩和されるようにしたことを特徴とする請求項1記載の導波路型光スイッチ。

【請求項3】 前記光導波路がガラス光導波路であり、前記主および副位相シフタが当該ガラス光導波路上に設けられた薄膜ヒータからなる熱光学効果位相シフタであることを特徴とする請求項1または2記載の導波路型光スイッチ。

【請求項4】 前記主および副位相シフタを連動して制御するようにしたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかの項に記載の導波路型光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信分野等で用いる導波路型光スイッチに関するものであり、さらに詳細には、波長依存性が少なく、広い波長域の信号光を同時切り替え可能な導波路型光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信の一層の普及のためには、光ファイバと受・発光素子の高性能化、低価格化に加えて、光分岐結合器、光合分波器、光スイッチ等の各種光回路部品の開発が必要不可欠な段階にきている。なかでも、光スイッチは、光ファイバ回線を需要に応じて自在に切り替えたり、回線故障の際の迂回路の確保のために、近い将来、重要な役割を占めると考えられている。

【0003】光スイッチの構成形態としては、従来から、1)バルク型、2)導波路型が提案されているが、それぞれに問題点を残している。バルク型は、可動プリズムやレンズ等を構成要素として組み立てられたものであって、波長依存性が少なく、比較的低損失という利点

があるものの、組立調整工程が煩雑で量産に適さず高価格という欠点があり、大きく普及するに至っていない。導波路型は、平面基板上の光導波路を基本として、フォトリソグラフィや微細加工技術を利用して、いわゆる集積型の光スイッチを一括大量生産しようとするものであって、将来型の光スイッチ形態として期待されている。

【0004】図8は、従来の導波路型光スイッチの構成の一例を示す平面図である。ここで、基板1上に形成された3dB光結合器2および3は、近接した2本の光導波路4および5からなる方向性結合器構成を有し、その結合率は信号光波長において50%（完全結合長の $1/2$ ）になるように設定されている。3dB光結合器2と3の間を連結する2本の光導波路4および5の各光路長は、当該2本の光導波路の途上に位置する位相シフタ4aおよび5aを動作させない状態で同一となし、すなわち、光導波路4と5とが対称になるように設定されている。

【0005】入力ポート1aから入射された信号光は、上記の状態では出力ポート2bから出射され、出力ポート1bからは出射されない。ところが、光導波路4と5との間に 180° （ π ラジアン）の光位相に相当する $1/2$ 波長近傍の光路長差が生じるように位相シフタ4aおよび5aの少なくとも一方を動作させると、入力ポート1aからの信号光は出力ポート1bから出射されるように切り替わり、光スイッチとしての動作が達成される。

【0006】このタイプの導波路型光スイッチは、マッハツェンダ光干渉計回路型とも呼ばれ、比較的簡単な位相シフタによりスイッチング作用を実現できることから、ガラス光導波路を初めとする種々の光導波路材料を用いて構成することが試みられているが、次のような問題点があった。

【0007】図9は、 $1.3\mu\text{m}$ 波長用に設計製作された前記光スイッチの波長特性図（入力ポート1aから出力ポート2bへの結合率を示す）である。ここで、曲線(a)は、位相シフタ4aおよび5aがオフの際の結合特性であり、曲線(b)はいずれか一方の位相シフタがオンの時の結合特性である。曲線(c)は、参考のために、構成要素である3dB光結合器の結合率波長特性を示したものである。いずれか一方の位相シフタがオンの状態（曲線(b)）では、 $1.3\mu\text{m}$ を中心として $\pm 0.2\mu\text{m}$ 程度の比較的広い波長域で、(1a→2b)結合率は、ほぼ零（5%以下）であって、信号光は波長依存性少なく（1a→1b）の経路を通過することが可能である。

【0008】これに対し、オフ状態（曲線(a)）では、90%以上の(1a→2b)結合率は、 $1.3\mu\text{m}\pm 0.1\mu\text{m}$ 程度の狭い領域に限定され、例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ では、結合率は50%程度にしか達せず、スイッチング状態が中途半端になってしまうという大

な問題点があった。

【0009】このように、図8の従来例の導波路型光スイッチが大きな波長依存性をもつ最大の原因は、構成要素である3dB光結合器（方向性結合器）が、図9の曲線（c）に示したように大きな波長依存性を有し、同図のように波長1.3μmにて50%結合率となるように設定した場合、波長1.5μmでは、結合率は50%から大きくはずれ、3dB光結合器として作用しなくなってしまう点にあった。

【0010】光スイッチを光ファイバ回線切り替え等の分野に使用する場合、回線中には、1.3μm波長光と1.55μm波長光とが同時に伝搬している状況が多々あり、光スイッチが波長依存性をもつことは、実用上の大きな問題点であった。

【0011】図10は上記従来例のこのような欠点を解決するために提案された光スイッチ（特願平1-52866号）の構成を示す平面図である。この光スイッチは、等光路長を有する2本の光導波路24および25を有し、その両端に、光路長差の異なる2本の光導波路22cと22dおよび23cと23dと2つの方向性結合器22aと22bおよび23aと23bより構成され、全体として非対称マッハツェンダ干渉計を構成する3dB光結合部22および23を配置している。この両端にある2つの非対称マッハツェンダ干渉計22および23は回路中心に対して点対称の位置に配置されている。つまり、マッハツェンダ干渉計の2本の光導波路22cと22dおよび23cと23dのうち、光路長の短い方の光導波路22dおよび23cが回路の中心に対して反対側にくるように配置されている。そして、スイッチングを行うための位相シフタ24aおよび25aが2つの非対称マッハツェンダ干渉計の間にある2本の等光路長差を有する光導波路24および25上に配置された構成を有している。

【0012】この光スイッチでは、前記従来例で最大の欠点であった3dB光結合器が大きな波長依存性を有するという問題を解決するために、前記従来例では1個の方向性結合器で構成していた3dB光結合器を非対称マッハツェンダ干渉計で構成している。

【0013】図11は、図12に示す非対称マッハツェンダ干渉計で構成された3dB光結合器22の結合率の波長依存性を表している。ここで、光路長差λは通常1μm近傍に設定される。この場合、波長λがλ₀付近の場合には、光路長差λ₀が信号光の波長と同一であるので、方向性結合器22aと22bとの間に光路長差があるにもかかわらず、非対称マッハツェンダ干渉計構成の3dB光結合器22全体の結合率は、結合部長（L₁+L₂）の方向性結合器と同等となる。これは、マッハツェンダ干渉計回路の光路長差が波長の整数倍の場合には、光路長差が零の場合と区別がつかないという光波の干渉原理による。

【0014】信号光波長がλ₀を越えて1.3μmからさらには1.55μmに至ると、光路長差は波長の整数倍（ここでは1倍）の関係から次第にずれて、端数倍になる。すなわち、この状態では、マッハツェンダ干渉計構成の3dB光結合器22を構成する2個の方向性結合器22aと22bとの間に有意な位相差、即ち、2πの整数倍からずれた位相差が現れる。この位相差により、3dB光結合器22全体の等価的結合長は、L₁とL₂との単純和からずれて、次第に減少する。

【0015】ここで、波長増加による単純方向性結合器（結合長=L₁+L₂）の結合率増加が、上記位相差による等価的結合長の減少により抑制されるように、光路長差λ₀や個々の方向性結合器22aおよび22bの各結合長L₁およびL₂が適正設定されていれば、3dB光結合器22は、所望波長域、例えば、1.3~1.55μm域において、50%付近の結合率を維持することが可能である。

【0016】この非対称マッハツェンダ干渉計構成の3dB光結合器22を、回路中心に対して点対称に組み合わせることにより、全体として、100%光結合器が構成され、スイッチングOFFの時に広い波長域で100%の光結合率を有する光スイッチが構成される。この光スイッチでは、位相シフタ24aおよび25aを制御することによりスイッチングがおこなわれる。位相シフタOFFの時に100%結合、つまり、対角ポートに光が通り、ONの時に0%結合、つまり、同側ポートに光が通る。

【0017】図13は、上記の構成を用いて、1.55μm帯でスイッチング特性の波長依存性を優先して設計された光スイッチの入力ポート1aから出力ポート2bへの結合率の波長特性である。スイッチングOFFの場合（曲線（a））、波長無依存性は第一の従来例に比べて、大幅に改善されており、1.2~1.6μmの波長領域で0.01%の精度で100%結合が実現されている。しかし、スイッチングONの場合（曲線（b））、なるほど、1.55μm波長域では1%以下の結合率であるが、1.3μm波長域での結合率は7%程度に達しており、消光がまだまだ不十分である。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】波長1.3~1.55μmの波長領域内の適当な波長で、位相シフタの位相差がπ（スイッチングON）になるようにスイッチングした時、その波長付近では光スイッチからの光の出力は対角ポートから同側ポートに移る。これは、光スイッチが全体として、2つの3dB結合部と位相シフタを含む2本の光導波路からなるマッハツェンダ干渉計を構成しており、位相シフタの位相を0、πと変化させることにより、マッハツェンダ干渉計の出力が入れ替わるためである。

【0019】このように従来例では、光スイッチの構成

要素である2個の3dB光結合器、それ自体に非対称マッハツェンダ光干渉計の回路構成を与え、このマッハツェンダ光干渉計回路の光路長差を使用波長域の短波長端よりやや短め(1μm近傍)に設定し、3dB光結合器の間の2本の光導波路上の位相シフタによりスイッチング特性の波長依存性の軽減するようにしている。

【0020】しかし、このように主位相シフタを用いて、光導波路の位相差がπになる波長付近で0%の光結合率を有する光スイッチを構成しても、位相シフタの位相シフト量は $2\pi n \Delta L / \lambda$ (n:導波路の屈折率、ΔL:導波路間の導波路長差、λ:波長)と表されるため、明らかな波長依存性を有している。

【0021】このため、位相シフタの位相差が正確にπになるのは設計された波長のみで、他の波長においては、光導波路の位相差がπよりずれてくる。これが、従来の光スイッチにおいてスイッチONにした時、波長1.3μm、あるいは1.5μmにおいて結合率を同時に0%にすることができない原因であった。

【0022】そこで、本発明の目的は、上記の欠点を解決し、所望の波長域、例えば1.3μm~1.55μm域において、波長依存性の極めて少ない動作をするマッハツェンダ光干渉計回路型の導波路型光スイッチを提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、請求項1の発明は、基板と、該基板上に設けられた2本の光導波路と、該2本の光導波路をそれぞれ光導波路の異なる位置で結合する2つの3dB光結合部と、該2つの3dB光結合部の間の前記光導波路上に配設されて光路長を微調する光位相シフタとを有する導波路型光スイッチにおいて、前記2つの3dB光結合部の各々は、前記2本の光導波路をそれぞれ光導波路の異なる位置で結合するよう設けられた2つの方向性結合器と、該2つの方向性結合器の間の2本の光導波路上に配設されて光路長を微調する副光位相シフタとを備え、前記2つの方向性結合器の間の2本の光導波路の光路長差を動作波長域の短波長端値よりもやや小さく設定し、および光路長の長い側の光導波路を、前記2つの3dB光結合部で互いに反対側に配置したことを特徴とする。

【0024】請求項2の発明は、動作波長域が、1.3μm~1.55μmの範囲を含み、前記3dB光結合器内での前記光路長差をほぼ1μmに設定して、前記3dB光結合器の結合率の波長依存性が波長1.3μm~1.55μmの範囲において緩和されるようにしたことを特徴とする。

【0025】請求項3の発明は、前記光導波路がガラス光導波路であり、前記主および副位相シフタが当該ガラス光導波路上に設けられた薄膜ヒータからなる熱光学効果位相シフタであることを特徴とする。

【0026】請求項4の発明は、前記主および副位相シ

フタを連動して制御するようにしたことを特徴とする。

【0027】本発明では、3dB光結合器の間の2本の光導波路上の位相シフタ(主位相シフタ)だけでなく、さらに、新たに設けた3dB光結合器を構成する非対称マッハツェンダ光干渉計上の位相シフタ(副位相シフタ)も同時に調整することにより波長依存性の軽減効果を増大させる。すなわち、3dB光結合器自体を、2個の方向性結合器を位相シフタを備えた2本の光導波路にて連結した構成とし、その連結光導波路に1μm近傍の光路長差を与え、これら2個の3dB光結合器を位相シフタを備えた2本の光導波路で連結し、全体として、主位相シフタおよび副位相シフタを同時に制御することにより所望の光スイッチ構成とする。

【0028】すなわち、本発明における副位相シフタの作用は、スイッチONの時の上述した0%結合率からのずれを補正することにある。上述したように、主位相シフタの位相シフト量には波長依存性があるので、ある波長で主位相シフタをπに設定しても、実際にはその波長の短波長側ではπより大きめの位相変化となり、反対に、長波長側ではπより小さめの位相変化になる。よって、この位相の波長変化を相殺するには、3dB結合部の結合率にも若干の波長依存性を与える必要がある。

【0029】前述したように、3dB結合部は構成する非対称マッハツェンダ干渉計にある光路長差を与えることにより広い波長にわたり3dB結合率を持つように設計されている。副位相シフタはこの非対称マッハツェンダ干渉計を構成する2本の光導波路の光路長差を3dB結合時の設計値よりわずかにずらし、3dB結合部に波長依存性をもたらす。この副位相シフタの補正効果は実施例の中で具体的に説明される。

【0030】

【実施例】以下、実施例によって本発明を詳細に説明する。以下の実施例では、光導波路としてシリコン基板上に形成した石英系単一モード光導波路を使用し、位相シフタとしてこの石英系光導波路上に装着した熱光学効果位相シフタを用いているが、これは、この組み合わせが、単一モード光ファイバとの接続性に優れ、しかも偏波依存性の無い光スイッチを提供できるためであるが、本発明は、これらの組み合わせに限定されるものではない。

【0031】図1は、本発明の光スイッチの一実施例として、1.3μm波長域と1.55μm波長域とで同時に動作可能となるよう設計した光スイッチの構成を示す平面図であり、図2の(A)、(B)および(C)は、それぞれ、図1の線AA'、BB'およびCC'に沿った断面を示す断面拡大図である。

【0032】ここで、21はシリコン基板、24および25はシリコン基板21上に配置された2本の石英系単一モード光導波路、22および23は3dB光結合器、22eおよび22fは光導波路22cおよび22d上にそれぞれ設けた熱光学効果を利用した副位相シフタ、2

3 eおよび2 3 fは光導波路2 3 cおよび2 3 d上にそれぞれ設けた熱光学効果を利用した副位相シフタ、2 4 aおよび2 5 aは光導波路2 4 および2 5 上にそれぞれ設けた熱光学効果を利用した主位相シフタ、1 aおよび1 bは入射ポート、1 bおよび2 bは出射ポートである。

【0033】図8に示した第1の従来例とは、3 dB光結合器2 2 および2 3 が、それぞれ2 個の方向性結合器2 2 aと2 2 bおよび2 3 aと2 3 bからなるマッハツェンダ光干渉計回路構成を有している点で異なる。また、図10に示した第2の従来例とは、3 dB結合部2 2 および2 3 に副位相シフタ2 2 eと2 2 f および2 3 eと2 3 fを有している点で異なる。3 dB光結合器2 2 および2 3 を構成しているマッハツェンダ光干渉計回路には、光路長差 λ が設定されている。

【0034】図2 (A)、(B) および (C) に示したように、光導波路2 4 および2 5 はコア部寸法が $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 程度であり、厚さ $50\mu\text{m}$ 程度のクラッド層2 1 b中に埋設されている。

【0035】方向性結合器2 2 aと2 2 bおよび2 3 aと2 3 bは、図2の(A)に例示したように、2本の光導波路を、数 μm の間隔で数 $100\mu\text{m}$ 長にわたって平行に走らせることによって構成されている。線BB'の断面部分(図2の(B))においては、方向性結合器2 2 aと2 2 bとの間に光路長差 λ を設定するために、光導波路2 5側がゆるやかな円弧を描いている。方向性結合器2 3 aと2 3 bとの間においては、逆に光導波路2 4側が円弧を描いている。

【0036】3 dB光結合器2 2 と2 3 とを連結する部分の光導波路2 4 および2 5の光路長は、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の精度で等しく設定されており、クラッド層2 1 b上には、熱光学効果を利用した副位相シフタ2 2 eと2 2 f および2 3 eと2 3 fとして薄膜ヒータ(クロム金属膜)が、 $50\mu\text{m}$ 幅、 4mm 長程度にわたって配置されている(図2の(B))。また、熱光学効果を利用した主位相シフタ2 4 aおよび2 5 aとして薄膜ヒータ(クロム金属膜)が、 $50\mu\text{m}$ 幅、 4mm 長程度にわたって配置されている(図2の(C))。それぞれの薄膜ヒータへの加熱温度の設定はそれぞれの薄膜ヒータへの装荷電圧により制御している。

【0037】本実施例における光導波路円弧部の曲率半径は 50mm に設計した。光スイッチのチップサイズは $40\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ であった。作製は、火炎加水分解反応によるガラス膜堆積技術と反応性イオンエッチングによる微細加工技術との公知の組み合わせにより行った。本発明では、3 dB光結合器を構成する2つの方向性結合器間に正確な光路長差 λ を設定することがキーポイントである。作製実験およびシミュレーションの結果、 λ の設定誤差は $\pm 0.1\mu\text{m}$ 以内に抑えることが望ましいと言えるが、これはフォトリソグラフィ技術を利用

すると容易に達成できる範囲である。

【0038】図3は、3 dB光結合器2 2 および2 3 として図11の曲線(b)に示した特性の光結合器を配し、最終的に図1の構成で作製した本発明第1実施例の光スイッチの結合率(1 a \rightarrow 2 b)波長特性の実測結果を示したものである。

【0039】光スイッチ構成上留意した点は、光結合器2 2 内部においては、光導波路2 5の方が光導波路2 4 に比べて $\lambda = 0.95\mu\text{m}$ 長いのに対し、逆に光結合器2 3 内部においては、光導波路2 4の方が、光導波路2 5よりも $\lambda = 0.95\mu\text{m}$ 長く設定した点である。

【0040】図3における曲線(A)は、光スイッチがオフの状態、すなわち、主位相シフタ2 4 aおよび2 5 a、および副位相シフタ2 2 eと2 2 f および2 3 eと2 3 fがオフの状態での光結合率(1 a \rightarrow 2 b)の波長依存性特性を示している。図9の曲線(a)に示した第1の従来例についての波長特性において90%以上の結合率をもつ波長域が $1.20 \sim 1.40\mu\text{m}$ に限定されているのに対し、図3の(A)では、90%以上の結合率をもつ波長域が、 $1.20 \sim 1.61\mu\text{m}$ と広く、 $1.3\mu\text{m}$ 帯のみならず $1.55\mu\text{m}$ 帯をもカバーしている点が特徴的である。

【0041】図3における曲線(B)は、いずれか一方の主位相シフタ(薄膜ヒータ)に通電して、オン状態(薄膜ヒータ消費電力は0.5ワット程度)にした時の結合率(1 a \rightarrow 2 b)の波長依存特性を示している。結合率が5%以下になっている波長域は $1.24 \sim 1.70\mu\text{m}$ である。この状態で信号光は、(1 a \rightarrow 1 b)の経路を通過することになる。すなわち、本実施例の光スイッチは、 $1.3\mu\text{m}$ 帯と $1.55\mu\text{m}$ 帯、いずれの波長帯においても、90%以上結合率状態と5%以下結合率状態を同時に切り替えることが可能であり、従来の光スイッチの欠点(図3の(B)の破線参照)が解決されている。

【0042】以上、実施例について、本発明の構成および作用を説明したが、本発明はこれらの構成に限定されるものではない。

【0043】図4~図7は、本発明光スイッチの構成の種々の変形例を考察するための説明図である。ここで、方向性結合器としては第2従来例で用いた結合長L1およびL2の2種類を使用し、方向性結合器間の光路長差が $\lambda = 0.95\mu\text{m}$ に設定されているものとする。

【0044】図4は、図1に示した実施例の構成そのものであり、本発明光スイッチとして望ましい動作をする。

【0045】図5は、右側の3 dB光結合器2 3 内の光路長差を図4の場合とは逆に導波路2 5側を長く設定した例であるが、このような配置では波長依存性の少ないスイッチ動作は得られなかった。

【0046】図6は、右側の3 dB光結合器2 3 の方向

性結合器23aおよび23bの順序を図3の場合から入れ替えた例であり、この構成も不適であった。

【0047】図7は左側の3dB結合器22および右側の3dB光結合器23とともに方向性結合器22aと22bおよび23aと23bの順序を入れ替えた例であり、この場合は、図4と同一の適性動作が得られた。

【0048】以上の実験から、本発明の光スイッチは、中心点に関して光学的にはほぼ点対称となるように構成要素を配置する必要があると推察される。詳細は波動結合理論に従って個々にシミュレーションして判断することが必要である。

【0049】以上の実施例においては、2個の3dB光結合器22と23との間の2本の光導波路24および25の光路長は、主位相シフタ24aおよび25aがオフの状態と同一であったが、場合によっては、あらかじめ0.71μm程度の光路長差を設定しておき、主位相シフタ24aおよび25aをオンにすることによって光路長差を逆に解消し、図3におけるオン・オフ状態を逆にすることも可能であり、そのような光スイッチも本発明の範囲に含まれることを指摘しておく。

【0050】本実施例では、主位相シフタ24aおよび25aと副位相シフタ22eと22fおよび23eと23fを同時にオン、オフしたが、実施例での副位相シフタのオンの時の効果が与えられるように3dB結合部の光路長差を予め若干量変化しておき、主位相シフタをオン、副位相シフタをオフにした時に0%結合が得られ、主位相シフタをオフ、副位相シフタをオンにした時に100%結合が得られるように光スイッチ回路を構成することもできる。このように、光導波路の光路長差を予め変化させることにより、スイッチのオン・オフ特性を逆転させることができることから、本発明は主位相シフタと副位相シフタの特定のオン、オフの關係に限定されないことを指摘しておく。

【0051】また、本実施例では、3dB結合部間の2本の光導波路上にそれぞれ主位相シフタを設けているが、どちらか一方の光導波路上だけに主位相シフタを設けていてもスイッチングをおこなわせることが可能である。また、副位相シフタも非対称な2本の光導波路上にそれぞれに配置されているが、どちらか一方の光導波路上だけに副位相シフタを設けても、同様のスイッチング特性が得られる。位相シフタをどちら側の光導波路に置くかにより、導波路間の光路長差の設計値は若干異なるが、波長依存性の極めて少ないスイッチング特性が得られることに違いはなく、単にパラメータの設計だけの問題であり、本発明が主位相シフタおよび副位相シフタの特定の配置に限定されないことを強調しておく。

【0052】以上、本発明光スイッチの光路切り替え機能について説明したが、本発明光スイッチの動作は必ずしもスイッチ機能のみに限定されず、主位相シフタにより例えば0.2μm程度の光路長変化を与えて、本発明

光スイッチを可変光結合器として動作させることもできる点も指摘しておきたい。

【0053】以上、シリコン基板の石英系光導波路の場合を例にとって本発明の構成作用等を説明してきたが、最初にも述べたように、本発明はこれらの材料系に限定されるものではなく、方向性結合器と位相シフタさえ構成できれば、他の材料系にも適用でき、本発明の範囲に含まれることを強調したい。たとえば、光導波路として、LiNbO₃系光導波路を用い、位相シフタとして電気光学効果位相シフタを用いることができる。

【0054】また、上記実施例で述べた個々の方向性結合器の結合長等は、作製プロセスの“くせ”によっても微妙に変化するので、本実施例の数値は単に一設計例にすぎないことを強調しておく。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、2個の方向性結合器をわずかに長さの異なる光導波路で連結し、これら光導波路に副位相シフタを設けてマッハツェンダ光干渉計型3dB光結合器を構成し、さらにこれら光結合器間の光導波路に主位相シフタを設けてマッハツェンダ光干渉計回路型光スイッチを構成し、主位相シフタだけでなく副位相シフタをも同時に制御することにより、波長依存性の極めて少ない導波路型光スイッチを提供することができる。このような光スイッチは、複数波長の信号光が多重されて行き交う光ファイバ通信網の構築などに多大の貢献をなすと期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明導波路型光スイッチの一実施例の構成を示す平面図である。

【図2】図1のAA'線、BB'線およびCC'線断面図である。

【図3】本発明第1実施例のスイッチング特性図である。

【図4】本発明光スイッチの変形構成可能性考察図である。

【図5】本発明光スイッチの変形構成可能性考察図である。

【図6】本発明光スイッチの変形構成可能性考察図である。

【図7】本発明光スイッチの変形構成可能性考察図である。

【図8】導波路型光スイッチの第1の従来例の構成を示す平面図である。

【図9】導波路型光スイッチの第1の従来例のスイッチング特性図である。

【図10】導波路型光スイッチの第2の従来例の構成を示す平面図である。

【図11】導波路型光スイッチの第2の従来例を構成する3dB光結合器の結合特性図である。

【図12】導波路型光スイッチの第2の従来例を構成す

る3dB光結合器の構成の説明図である。

【図13】導波路型光スイッチの第2の従来例の結合率の波長特性図である。

【符号の説明】

- 1 基板
- 2, 3 3dB光結合器
- 4, 5 光導波路
- 4a, 5a 位相シフタ
- 1a, 2a, 1b, 2b 入出力ポート

* 21 シリコン基板

22, 23 マッハツェンダ光干渉計回路構成3dB光結合器

24, 25 石英系光導波路

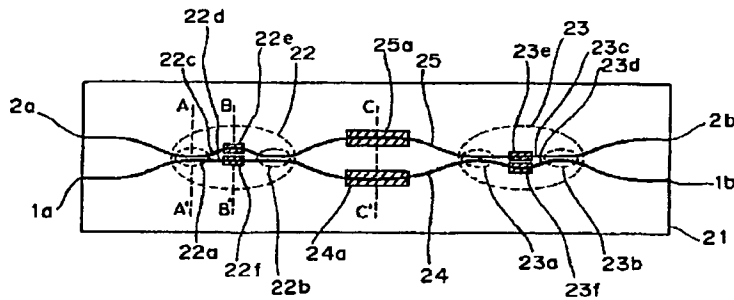
22e, 22f, 23e, 23f 副位相シフタ(薄膜ヒータ)

24a, 25a 主位相シフタ(薄膜ヒータ)

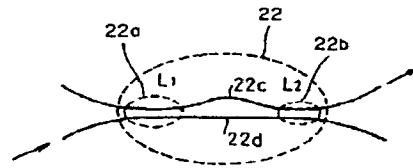
22a, 22b, 23a, 23b 方向性結合器

* 21b 石英系クラッド層

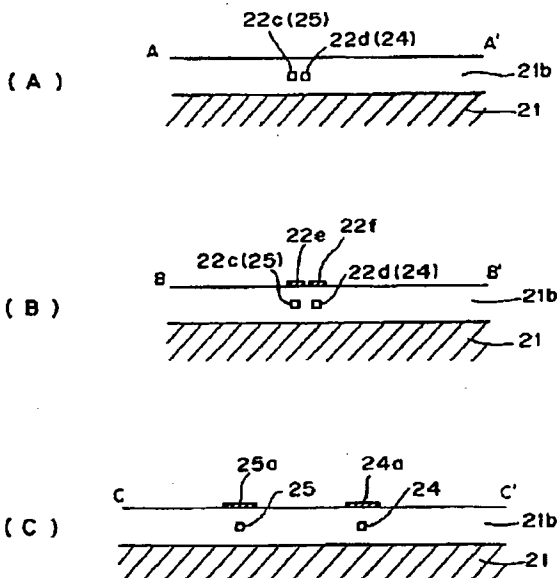
【図1】



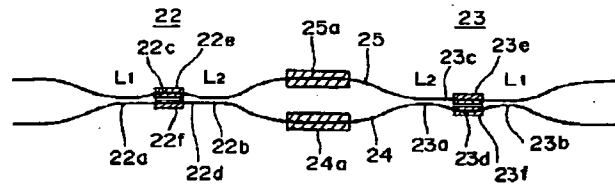
【図12】



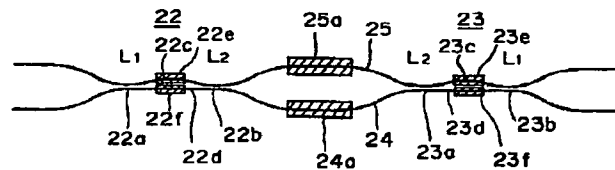
【図2】



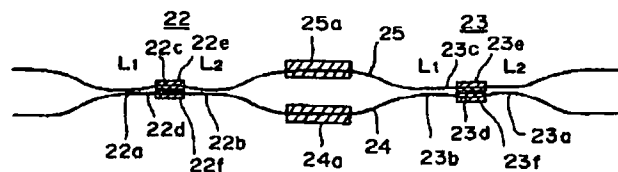
【図4】



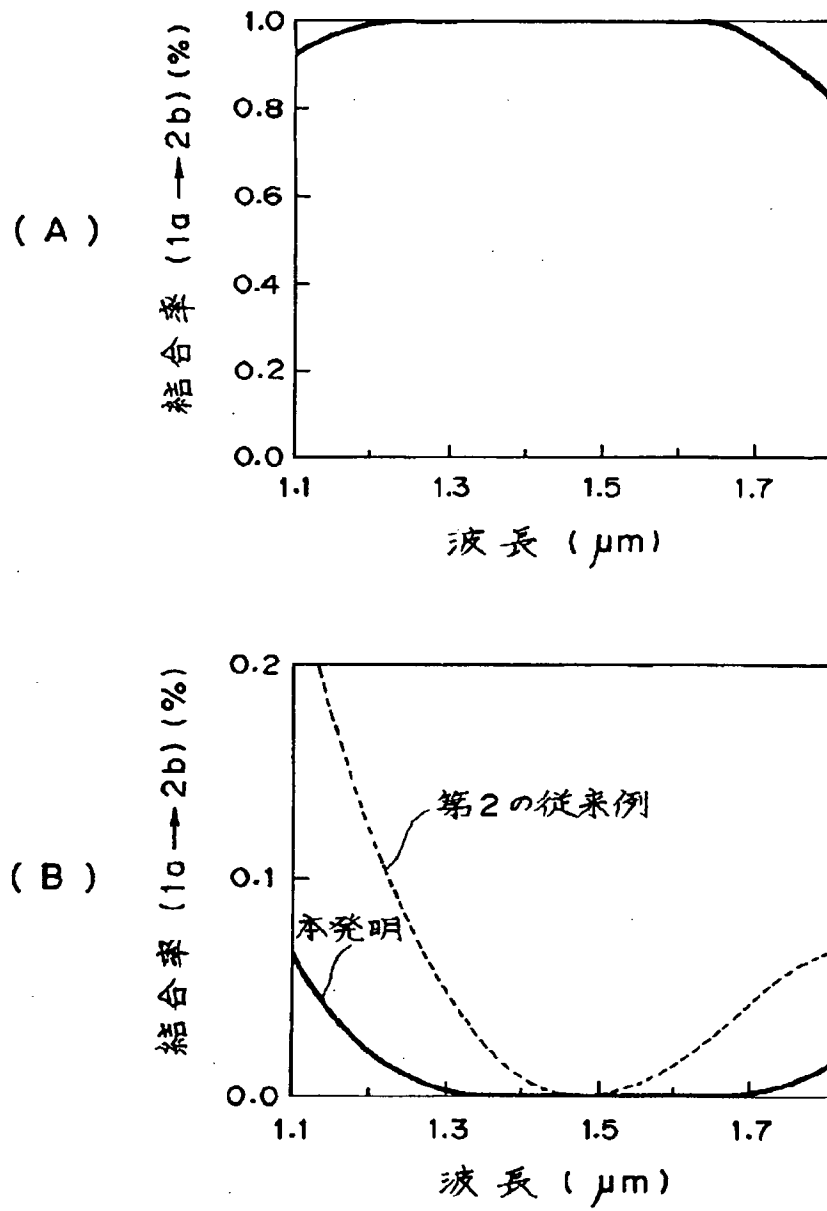
【図5】



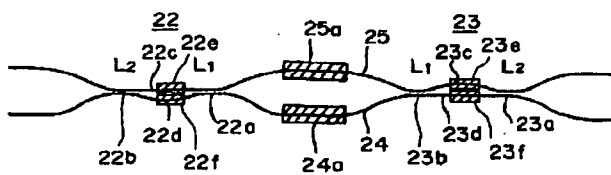
【図6】



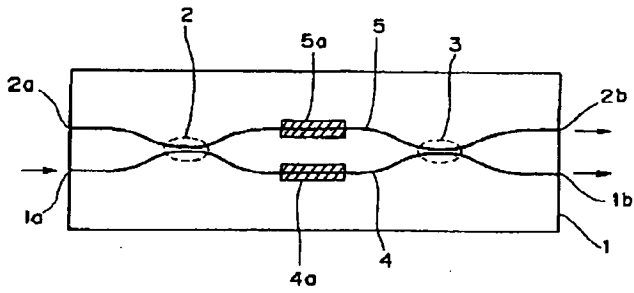
【図3】



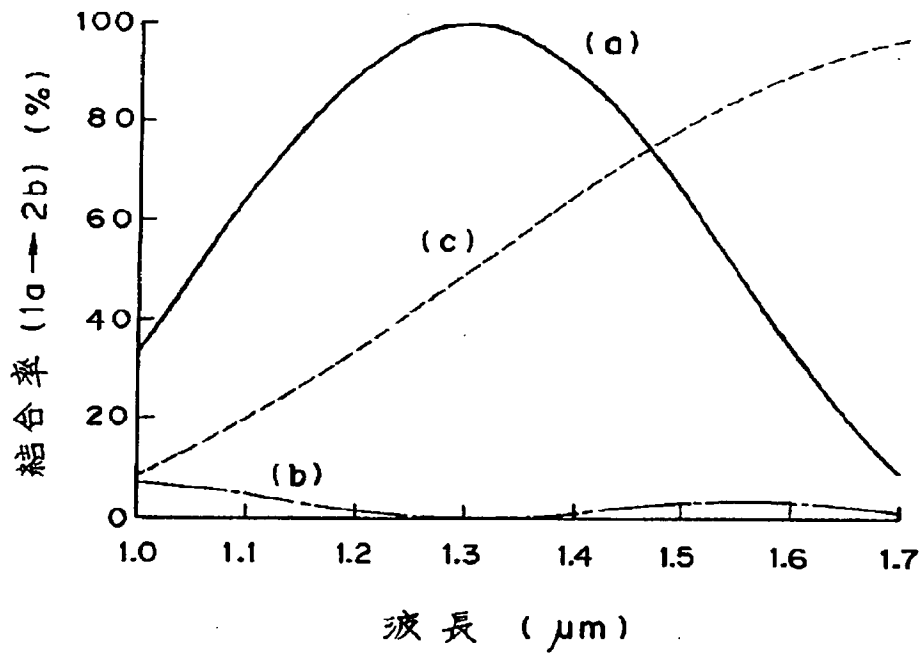
【図7】



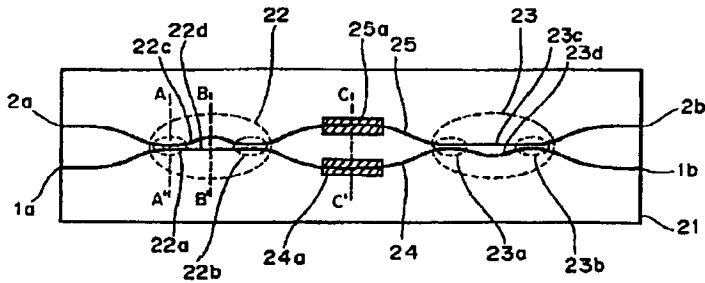
【図8】



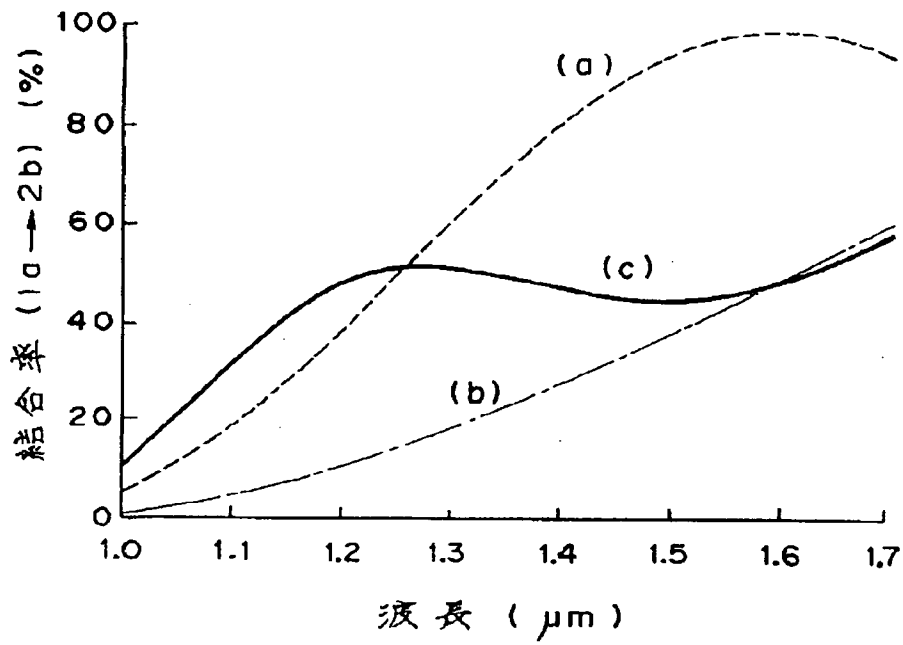
【図9】



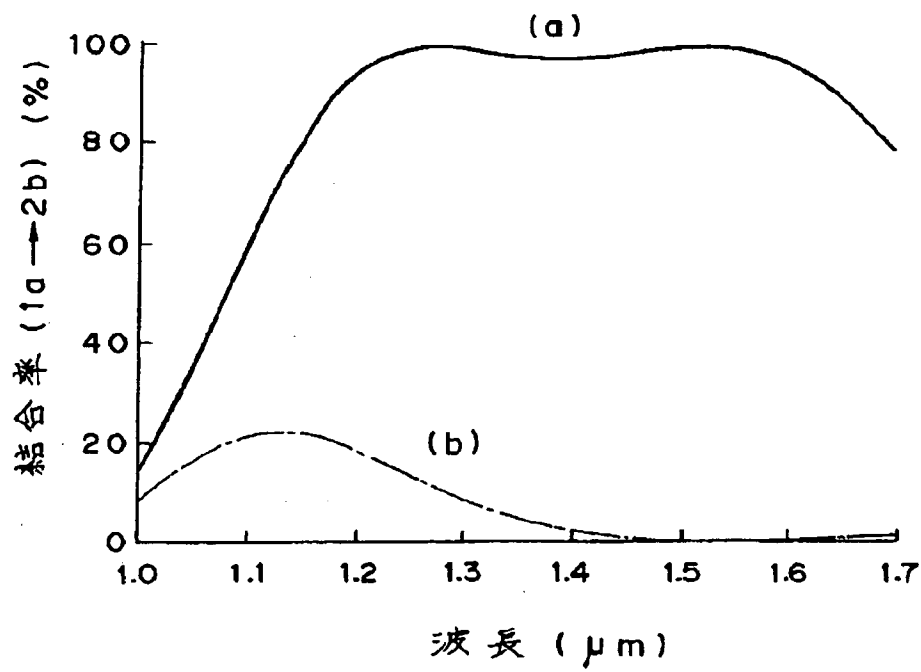
【図10】



【図11】



【図13】



Paragraph 0028:

More specifically, the function of subphase shifters of the present invention is to compensate the deviance from the zero per cent coupling ratio described above. As stated above, because the phase shift amount of the main phase shifter has wavelength dependence, even if the phase shifter is configured at π as for a certain wavelength, the phase variation will be greater than π at shorter wavelengths of the certain wavelength, and contrarily, the phase variation will be less than π at longer wavelengths of the certain wavelength. Therefore, it is necessary to provide the coupling ratio of the 3dB coupler with little wavelength dependence in order to cancel out the phase variation.

Paragraph 0045:

Figure 5 shows an example of setting the optical path length difference within the right 3dB optical coupler 23 with waveguide 25 longer in contrast to the case in Fig.4. However, such arrangement could not obtain a switching operation with small wavelength dependence.

Paragraph 0046:

Figure 6 shows an example of interchanging the order of directional couplers 23a and 23b of the right 3dB optical coupler 23. However, this alignment was also improper.

Paragraph 0047:

Figure 7 shows an example of concurrently reversing the order of directional couplers 22a, 22b of the left 3dB optical coupler 22 and the order of directional couplers 23a, 23b of the right 3dB optical coupler 23. This case obtained same adequate operation as with the case in Figure 4.

Paragraph 0048:

It is inferred from the above-mentioned experiments that the optical switch of the present invention is necessary to dispose constituent elements of the switch to be almost point symmetric optically with respect to a center point of the optical switch. Details need to be determined by individual simulation according to a coupled wave theory.

Paragraph 0055:

.....

[Brief description of the drawings]

.....

Figure 4 shows a prospect drawing in relation to capability of transformational configuration of the optical switch of the present invention.

Figure 5 shows an alternative prospect drawing in relation to capability of transformational configuration of the optical switch of the present invention.

Figure 6 shows a further alternative prospect drawing in relation to capability of transformational configuration of the optical switch of the present invention.

Figure 7 shows a further alternative prospect drawing in relation to capability of transformational configuration of the optical switch of the present invention.

.....

[Explanation of references]

1	substrate
2 and 3	3dB optical coupler
4 and 5	optical waveguide
4a and 5a	phase shifter
1a, 2a, 1b and 2b	input/output port
21	silicon substrate
22 and 23	Mach-Zehnder optical interferometer circuitry type 3dB optical coupler
24 and 25	silica-based optical waveguide
22e, 22f, 23e and 23f	subphase shifter (thin-film heater)
24a and 25a	main phase shifter (thin-film heater)
22a, 22b, 23a and 23b	directional coupler
21b	silica-based cladding layer

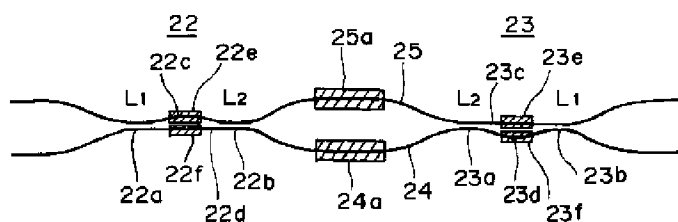


FIG. 4

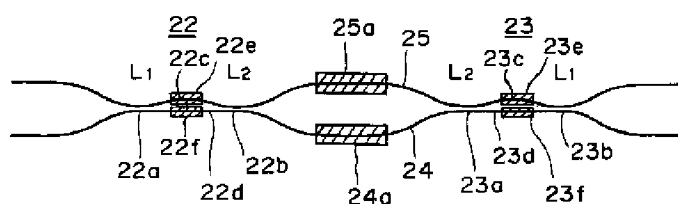


FIG. 5

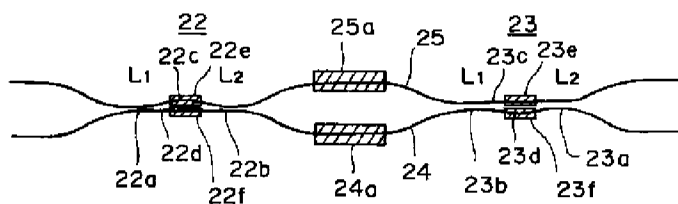


FIG. 6

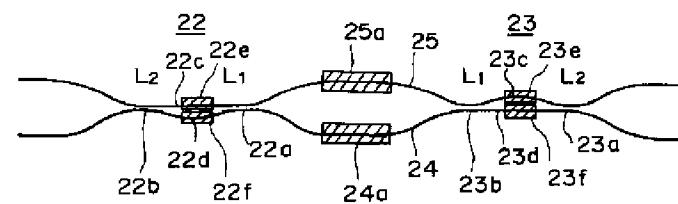


FIG. 7